

Р. С. СИДОРИК, П. М. ШЕВЧУК, И. И. ЯЦЮК

## О ТОЧНОСТИ ОРИЕНТИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ГИРОТЕОДОЛИТАМИ ГИ-Б2

При восстановлении пунктов государственной геодезической сети, которое производится с целью поддержания их в исправном состоянии для использования при топографических съемках и инженерно-изыскательских работах, необходимо определить дирекционные углы на вновь установленные ориентирные пункты. Поскольку наружные знаки на многих пунктах не сохранились и видимостей на смежные пункты нет из-за застроек, высоких лесополос и других препятствий, эти работы могут быть выполнены только посредством астрономических наблюдений, которые всецело зависят от метеорологических условий в районе работ. Очевидно, расчет только на астрономические наблюдения значительно растянет сроки завершения работ и удорожит их стоимость. В связи с этим очень эффективен метод гирокопического ориентирования, основные достоинства которого: быстрая и автономность определения азимутов, возможность выполнения работ независимо от погоды, времени года и суток, а также физико-географических особенностей района.

Гиротеодолиты ГИ-Б2 (фирма МОМ, Венгрия) по паспортным данным обеспечивают точность ориентирования направлений со средней квадратической погрешностью  $\pm 10-15''$ , что ограничивает их применение для этих работ, поскольку точность определения дирекционных углов на ориентирные пункты не должна быть ниже  $5-7''$ . Однако в исследованиях отечественных [2, 4] и зарубежных [7] авторов показано, что точность опреде-

ления дирекционных углов гиротеодолитами ГИ-Б2 можно повысить почти в 3 раза.

Для установления реальной точности ориентирования направлений одиночными гиротеодолитами ГИ-Б2, разработки соответствующей методики полевых измерений и камеральной обработки материалов мы выполнили на производственном объекте специальные экспериментальные работы. Ориентирные направления определяли одним гиротеодолитом четырьмя пусками по известной методике [1, 3]. В каждом пуске наблюдали 4 точки реверсии и по ним вычисляли значение положения равновесия вынужденных колебаний чувствительного элемента. Для измерения периода свободных колебаний чувствительного элемента использовали секундомеры, температуру воздуха определяли психрометром. Наблюдения на пунктах велись как в светлое, так и в темное время суток, в ясную и пасмурную погоду, при моросящем дожде, на спокойные и слегка колеблющиеся изображения визирных марок.

Для передвижения по участку работ пользовались автомашинами УАЗ-452, имеющими хорошую амортизацию и большую проходимость. Это обеспечивало сохранность приборов и возможность подъезда к пунктам, почти во всех местах. Всего гиротеодолитами ГИ-Б2 определены дирекционные углы на 351 пункте, что составляет 53,0% общего числа восстановленных пунктов. В камеральную обработку включены все результаты полевых измерений за исключением приемов, в которых были нарушены нормальные условия наблюдений.

Как известно, на точность ориентирования направлений гиротеодолитами ГИ-Б2 влияет в основном стабильность инструментальной поправки прибора. Величина ее зависит от многих факторов, главные из них: стабильность работы генератора, питающего гиromотор, температура окружающей среды, стабильность механических характеристик торсиона, механическая жесткость элементов конструкции прибора и т. п. [6].

Основной причиной изменения инструментальной поправки в процессе эксплуатации прибора является разрегулирование, которое вызывается деформациями гиротеодолита при изменении температурного режима работы, воздействием транспортной тряски и других динамических нагрузок, износом и старением деталей [1]. Поскольку влияние каждого из этих факторов на величину инструментальной поправки учитывать практически невозможно, предусматривается периодическое эталонирование гиротеодолитов по направлениям с известными астрономическими азимутами или дирекционными углами.

Периодичность повторного эталонирования устанавливают в первую очередь по изменению температуры окружающего воздуха в момент производства работ по сравнению с температурой последнего эталонирования. В. Ю. Торочков [6] рекомендует эталонировать гиротеодолит «при относительно однотипных окружающих условиях» через 1—2 месяца, В. В. Кутырев и

И. А. Макаров [2] — перед началом и по окончанию работ, но не реже одного раза в 1,5 месяца, Н. Н. Воронков и Н. М. Ашилов [1] — после 50—70 пусков со времени последнего эталонирования. Как видим, по этому вопросу нет единого мнения.

Исходя из данных рекомендаций и учитывая главные причины изменения инструментальной поправки, мы установили, что эталонирование гиротеодолитов нужно проводить каждые 15—20 дней работы прибора. При этом условии наработка гиротеодолитов между двумя эталонированиями, как правило, не превышала 70 пусков, а протяженность транспортных переездов в среднем составляла 500—600 пог. км. Инструментальную поправку определяли на опорных пунктах, имеющих астрономические азимуты контрольных направлений, определенные по программе 1-го класса со средней квадратической погрешностью  $m_{A_0} < \pm 0,5''$ .

В начале и конце полевого сезона поправку находили, как правило, из 9 пусков, а в процессе эксплуатации прибора — из 4 пусков. В случае каких-либо отклонений в работе прибора, а также при замене гироблока, преобразователя или изменении режима работы, поправку устанавливали из 9 пусков. Чтобы охватить различные метеорологические условия, определение проводили в основном в течение двух суток.

Инструментальная поправка гиротеодолита вычисляется по известной формуле

$$\Delta = A_0 - a_{0\text{гир}}, \quad (1)$$

где  $A_0$  — астрономический азимут исходного направления;  $a_{0\text{гир}}$  — гирокопический азимут исходного направления.

При соблюдении примерно одинакового температурного режима работы прибора изменения инструментальной поправки от пуска к пуску носят, как правило, случайный характер. Поэтому с увеличением числа пусков точность определения инструментальной поправки повышается, и это повышение подчиняется закону компенсации случайных погрешностей [1].

Таким образом, средняя квадратическая погрешность определения поправки одним пуском

$$\mu_\Delta = \pm \sqrt{\frac{[(\Delta_i - \Delta_{cp})^2]}{n-1}}, \quad (2)$$

а погрешность среднего значения из  $n$  пусков, которая характеризует лишь погрешности собственно измерения, в  $\sqrt{n}$  раз меньше.

Оценка точности определения инструментальной поправки выполнена нами путем вычисления среднего квадратического отклонения  $\sigma$  по совокупности 127 выборок равноточных наблюдений и по размаху варьирования  $R_n$  значений инструментальных поправок, соответственно равных 5,6" и 6,0" [5].

Средние квадратические погрешности определения инструментальной поправки одним приемом, вычисленные по внутренней сходимости приемов из каждого эталонирования, в 74,8% случаев не превышают 6" и в 94,5% — 8".

Определение инструментальной поправки из 9 пусков характеризуется средней квадратической погрешностью  $\pm 2"$ , которая хорошо согласуется с данными работы [4]. Поскольку погрешность исходного азимута очень мала ( $m_A < 0,5"$ ), то согласно формуле (1) полученная точность определения инструментальной поправки из одного пуска характеризует точность измерения азимута одним пуском гироэодолита. Так как она вычислена по результатам эталонирований всех приборов, выполненных в течение полевых работ на 4 исходных пунктах, ее можно считать паспортной характеристикой нашей партии гироэодолитов ГИ-Б2, то есть принять  $m_{\text{гир}} = 6" - 9"$ .

Колебание значений инструментальной поправки из разных эталонирований, проведенных в течение полевого сезона, находится в пределах точности ее определения и, за исключением одного случая, не превышает  $\pm 10" (2,5 \cdot 3,2" = 10,6")$ , что свидетельствует о ее стабильности при соблюдении температурных режимов работы. Однако замена гироблока, преобразователя, изменение температурного режима работы прибора вызывают значительное изменение поправки. Поэтому после такой замены необходимо производить определение поправки на опорном пункте из 9 пусков. Следует также отметить, что в некоторых приборах инструментальная поправка имеет тенденцию к постоянному изменению. Кроме того, в процессе производства работ возможны недопустимо большие (аварийные) изменения поправки, вызываемые разрегулированием гироэодолита из-за транспортной тряски, изменения температурного режима работы и т. п. Они обнаруживаются только при очередном эталонировании прибора и вызывают необходимость повторных измерений на пунктах с целью установления момента изменения поправки. Но поскольку между двумя очередными эталонированиями наблюдается небольшое количество пунктов, то объем повторных измерений незначительный.

У нас было 4 случая аварийного изменения поправки. Объем повторных измерений вследствие этого составил всего около 1% общего числа пунктов.

Для вычисления дирекционных углов в качестве рабочей поправки мы принимали средневесовое значение, найденное по результатам всех эталонирований, когда колебание значений поправки носило случайный характер и не превышало  $\pm 10"$ . Если величина поправки постоянно увеличивалась или уменьшалась, то для определения дирекционных углов значение поправки интерполировалось на момент наблюдений. Поправки за уклонение отвеса для перехода к геодезическому азимуту выбирали из специальных схем, сближение меридианов вычисляли по прямоугольным координатам пунктов.

Как известно, дирекционный угол направления при гирокомпасном ориентировании находят по формуле

$$\alpha_{1,2} = \alpha_{\text{тир}} + \Delta + \delta_A - \gamma_1 + \delta_{1,2} \quad (3)$$

или, заменяя  $\Delta$  ее значением из выражения (1),

$$\alpha_{1,2} = A_0 + (\alpha_{\text{тир}} - \alpha_{\text{гир}}) + \delta_A - \gamma_1 + \delta_{1,2}. \quad (4)$$

Согласно [1], среднюю квадратическую погрешность дирекционного угла, определенного гиротеодолитом, можно вычислить по формуле

$$m_\alpha^2 = m_{A_0}^2 + m_{\text{гир}}^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n_0} \right) + m_{\delta_A}^2 + m_{\gamma_1}^2 + m_{\delta}^2. \quad (5)$$

Пренебрегая погрешностями  $m_\gamma$  и  $m_\delta$ , которые ничтожно малы, и подставляя вместо  $m_{A_0} = \pm 1'', 0$ ,  $m_{\text{гир}} = \pm 9''$  (согласно полученным нами результатам)  $m_{\delta_A} = \pm 2'', n=4$  и  $n_0=9$ , находим  $m_\alpha = 6,0''$ .

В процессе окончательной обработки материалов гирокомпасного ориентирования была выполнена оценка точности полученных результатов, а также на основе статистических выборок проверены установленные технические допуски. По данным 2129 выборок было установлено:

1. Расхождение значений положения равновесия свободных колебаний чувствительного элемента  $A_1$  и  $A_2$ , определенных до и после пуска гиromотора, в 97,8% случаев не превышает 2 делений шкалы автоколлиматора.

2. Расхождения значений положения динамического равновесия чувствительного элемента  $N_1 - N_2$  в 99,1% случаев не превышает 10''. Колебание значений гирокомпасных азимутов, полученных на пункте из 4 пусков прибора в 96,0% случаев не превышает 20''.

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , вычисленное по совокупности выборок равноточных наблюдений и по размаху вариации гирокомпасных азимутов, равно 4,0''.

Средние квадратические погрешности определения дирекционных углов гиротеодолитом из одного пуска, найденные по результатам внутренней сходимости приемов на 351 пунктах, в 96,3% случаев не превышают 8'', а из 4 пусков в 97,7% случаев не превышают 4''.

Границы возможных значений эмпирической дисперсии  $S$  при заданном уровне значимости  $q=4\%$ ,  $\sigma=\pm 4''$  и числе степеней свободы  $k=n-1=3$  могут быть определены по формуле

$$P \left( \sigma^2 \frac{\chi_1^2}{k} < s^2 < \sigma^2 \frac{\chi_2^2}{k} \right) = 1 - q.$$

Подставляя числовые значения, получим  $1.0 < s < 7.3''$ , что хорошо согласуется с нашими результатами.

Полная погрешность дирекционного угла согласно формуле (3), после подстановки числовых величин  $m_{A_0} = \pm 0,5''$  и  $m_{\delta A} = \pm 2'' - m_\alpha = \pm 4,5''$ .

В подтверждение этого на 10 пунктах, расположенных в различных частях участка работ, найдены астрономические азимуты с точностью  $\pm 1''$ . Результаты сравнения астрономических и гиротеодолитных азимутов приведены в таблице. По разностям этих азимутов вычислена истинная средняя квадратическая погрешность гирокопического азимута, которая оказалась равной  $\pm 4,8''$ .

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что одиночные гиротеодолиты ГИ-Б2 при периодическом эталонировании их через 15 дней работы обеспечивают ориентирование направлений с точностью  $5-7''$ .

Экономическая эффективность применения гиротеодолитов (по сравнению с астрономическим методом) составляет 95 руб. на каждый геодезический пункт.

Для обеспечения указанной точности ориентирования для полевых измерений необходимо подбирать такие гиротеодолиты, в которых средняя квадратическая погрешность ориентирования направлений из одного пуска не превышает  $10''$ , а результаты полевых измерений должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Величина нуль-пункта свободных колебаний чувствительного элемента не должна превышать 3 делений шкалы, а величина расхождений нуль-пунктов  $A_1 - A_2$ , определенных до и после пуска гиromотора, как правило, не должна быть более 2 делений.

2. Расхождения значений гирокопических азимутов, полученных из разных пусков, не должны быть более  $20''$ . Колебание значений инструментальной поправки, полученных в разных пусках, как правило, не должно быть более  $25''$ .

3. Расхождение значений положения динамического равновесия чувствительного элемента  $N_1 - N_2$ , вычисленных по трем точкам реверсии, не должно быть более  $10''$ .

4. Колебания значений инструментальной поправки из разных эталонирований не должно превышать  $\pm 10''$ .

Значения астрономических и гирокопических азимутов

Номер пункта	Значение азимута		Расхождение азимутов
	из астрономических определений	из гирокопических определений	
1	32,3	26,8	-5,5
2	51,2	57,2	+6,0
3	57,8	57,1	-0,7
4	06,6	03,9	-2,7
5	38,2	45,2	+7,0
6	43,7	46,5	+2,8
7	21,3	19,5	-1,8
8	29,3	34,3	+4,9
9	15,2	07,2	-8,0
10	01,5	04,2	+2,7

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронков Н. Н., Ашимов Н. М. Гирокопическое ориентирование. М., «Недра», 1973.

2. Кутырев В. В., Макаров И. А. Определение ориентирных направлений с точностью 5—7" гиротеодолитами ГИ-Б2. — «Геодезия и картиграфия», 1973, № 10.

3. Руководство по определению дирекционных углов на ориентирные пункты гиротеодолитами ГИ-Б2, М., ОНТИ ЦНИИГАиК, 1975.

4. Сидорик Р. С., Русин М. И. О точности определения истинных азимутов гиротеодолитом ГИ-Б2. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1973, № 1.

5. Смирнов Н. В., Белугина Д. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. М., «Недра», 1969.

6. Торочков В. Ю. Гиротеодолиты, М., «Недра», 1970.

7. Cígbus Ján. Urcovánie polohy bodov gyroteodolitom MOM Gi-B2. — «Geod. a kartogr. obz.», 1972, 18, № 11.

Работа поступила в редакцию 21 апреля 1976 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.